

УДК 539.3

Э. А. Аглетдинов^{1*}, А. Ю. Виноградов², Д. А. Дрозденко³¹ Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти² Норвежский университет естественных и технических наук, г. Тронхейм (Норвегия)³ Карлов университет, г. Прага (Чехия)

*aeinar7@gmail.com

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ МАГНИЯ

Проведен статистический анализ сигналов акустической эмиссии, полученных при сжатии монокристаллов магния, ориентированных определенным образом по отношению к оси приложенной нагрузки. Выявлено, что механическое двойникование относится к коррелированным процессам с памятью. Дислокационное скольжение же, напротив, проявляется как процесс, состоящий из случайных и независимых друг от друга элементарных актов.

Ключевые слова: пластическая деформация, магний, акустическая эмиссия, двойникование, обработка сигналов

E. A. Agletdinov, A.Yu. Vinogradov, D. A. Drozdenko

STATISTICAL ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS DURING PLASTIC DEFORMATION OF MAGNESIUM SINGLE CRYSTALS

Statistical analysis of acoustic emission during compression of magnesium monocrystals, oriented in a proper way to the loading axis, was carried out. It was revealed that mechanical twinning refers to the history depended processes. In contrast, the dislocation slip appears as a process consisting of random and independent elementary acts.

Key words: plastic deformation, magnesium, acoustic emission, twinning, signal processing

За последнее десятилетие магний и его сплавы стали востребованными конструкционными материалами в аэрокосмической, ав-

томобильной и других областях в связи с их высокой удельной прочностью и пластичностью. Деформационное поведение, демонстрируемое материалами с ГПУ-решеткой, значительно отличается от металлов с кубической решеткой. В условиях, когда количество систем скольжения сильно ограничено, механическое двойникование вносит большой вклад в общую деформацию кристалла. Это происходит за счет разориентировки кристаллической решетки при двойниковании и активации дислокационного скольжения в благоприятно разориентированном кристалле [1]. Как известно, метод акустической эмиссии (АЭ) является мощным средством для исследования процессов, происходящих в материале под нагрузкой [2]. Высокая чувствительность метода и динамическая природа явления благоприятствуют идентификации различных механизмов пластической деформации и детальному исследованию их свойств. Однозначное количественное описание уникального акусто-эмиссионного отклика, создаваемого различными источниками локального сброса напряжений, является весьма непростой задачей. Поэтому для анализа и интерпретации сигналов акустической эмиссии необходимо применять современные методы обработки и анализа данных. Идея настоящей работы состоит в использовании новых методов статистического анализа сигналов АЭ для исследования процессов пластической деформации.

В качестве материала для испытаний был взят чистый монокристаллический магний. Проводились механические испытания на сжатие. Для того чтобы активировать основные механизмы пластической деформации в изоляции друг от друга, ось сжатия была ориентирована двумя способами: вдоль оси монокристалла $\langle 11\bar{2}2 \rangle$ — активация базисного скольжения, вдоль оси $\langle 11\bar{2}0 \rangle$. — активация механического двойникования. Для определения ориентации образцов был использован рентгеновский дифрактометр Panalytical. Испытания сопровождались беспороговой записью сигналов АЭ. Использовалась плата PCI-2 фирмы PAC, частота дискретизации 2 МГц, датчик MST8S. Для проверки результатов анализа сигналов АЭ выполнялись in-situ исследования микроструктуры в камере сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Zeiss Crossbeam Auriga, оборудованного приставкой MTEST Quattro. Механические испытания периодически приостанавливались для получения микроструктуры при различных увеличениях.

Обработка сигналов АЭ включала в себя три этапа. Во-первых, проводилось детектирование событий оригинальным алгоритмом детектирования сигналов малых амплитуд [3; 4]. Далее был проведен статистический анализ потока выделенных сигналов. Анализ основан на использовании представлений теории точечных процессов к потоку сигналов. Эта процедура детально описана в работе [4]. На третьем этапе проводилась кластеризация сигналов методом ASK [5].

Статистический анализ сигналов АЭ показал, что механическое двойникование относится к процессам с памятью, то есть между последующими актами зарождения и роста двойников существует корреляция. Дислокационное скольжение же, напротив, проявляется как процесс, состоящий из случайных и независимых друг от друга элементарных актов. Анализ изменения микроструктуры при нагружении полностью подтвердил результаты анализа АЭ-сигналов.

Литература

1. Agnew S. R. Deformation mechanisms of magnesium alloys, in : C. Bettles, M. Barnett (Eds.) // *Advances in Wrought Magnesium Alloys: Fundamentals of Processing, Properties and Applications*. 2012. С. 63–104.
2. Acoustic-Emission Study of Intermittency of Plastic Flow during Twinning and Dislocation Glide / I. V. Shashkov [et al.] // *Acta Physica Polonica*, A. 2012. T. 122, № 3. С. 430–434.
3. A novel Bayesian approach to acoustic emission data / E. Agletdinov [et al.] // *Ultrasonics*. 2016. Vol. 72. С. 89–94.
4. Agletdinov E., Vinogradov A., Merson D. Mechanical Twinning is a Correlated Dynamic Process // *Scientific Reports*. 2019. V. 9.
5. Pomponi E., Vinogradov A. A real-time approach to acoustic emission clustering // *Mech. Syst. Signal Process.* 2013. T. 40, № 2. С. 791–804.